

2. 新技術の実用化に向けた野外試験

2-1 野外試験の概要と目的

2章では、1章（表 1-3-1）で整理した技術の中から、技術の検証および研究段階の新技術 3 種（GPS 搭載型電波発信機（GPS-TX）、赤外線サーモカメラ、レーダー）を選び、野外での実証実験を通じて猛禽類調査での適用可能性について検討することとした。

まず、GPS 搭載型電波発信機（GPS-TX）は、野生動物の移動追跡用に開発された機器であり、既に哺乳類等を対象とした研究で実績がある。猛禽類については、機器を小型化する必要があり、野外での研究実績がなかった。

また、熱を感知する赤外線サーモカメラは、夜間の哺乳類調査では広く用いられているが、羽毛に覆われ、かつ林内を自在に飛行する猛禽類を対象にした調査事例は、報告されていない。

さらに、レーダーは、高い場所を飛行する渡り鳥や風力発電所の建設予定地での鳥類調査などでの使用実績があるものの、猛禽類が利用する林縁部や畑地、谷地形などの障害物や起伏の多い環境や、低空を飛ぶ猛禽類の調査での有効性（目視記録の精度向上）についてはわかっていない。

そこでこれらの技術について実証実験を行うこととした。なお実験では、鷹匠が飼養中のオオタカを一時的に放鳥し、オオタカの位置や飛行経路を、各技術を用いて調べた。

表 2-1-1 野外での実証実験の概要

技術の名称	写真	調査目的（確認事項）	実証実験の方法
GPS 搭載型 電波発信機 (GPS-TX)		<ul style="list-style-type: none"> GPS 情報の精度 無線による伝送距離と基地局での受信状況、地形による違い 	まず、オオタカに連続的に位置を記録し続ける超小型の GPS データロガーを装着して放鳥し、各技術を用いて移動を追跡した。
赤外線 サーモ カメラ		<ul style="list-style-type: none"> サーモカメラによるオオタカの視認状況 	次に、GPS データロガーによって得られた正確なオオタカの移動経路と各技術によって得られた結果を比較し、調査手法ごとの特長と課題、活用可能性を整理した。
レーダー		<ul style="list-style-type: none"> レーダーによるオオタカの視認状況 調査可能範囲 調査時の留意事項 	
【従来型】 目視による 調査		<ul style="list-style-type: none"> 新技術との比較 	



2-2 GPS 搭載型電波発信機 (GPS-TX)

(1) 調査の目的と実証実験に用いた機材

GPS 搭載型電波発信機 (GPS-TX) は、GPS と発信機が一体になった装置で、調査対象の猛禽類に装着して使用する。GPS-TX を装着すると、内蔵の GPS が猛禽類の位置 (緯度・経度・高度) を測位し、無線でリアルタイムに伝送する。この伝送された位置情報を基地局で受信し、猛禽類の位置を記録/可視化する。

実証実験では、オオタカに装着できるように、新たに小型化・軽量化した機種 (試作機) を使用した (表 2-2-1)。また、GPS-TX の測位精度を確認するため、超小型の GPS データロガー (電波発信機能なし) も、併せてオオタカに装着した。

これらの機材を用い、GPS-TX による GPS の測位精度、無線による伝送距離と基地局での受信状況、地形による違い等、調査手法の特長と課題、活用可能性について明らかにすることを目的に実証実験を行った。

表 2-2-1(1) GPS-TX (発信機) と GPS データロガーの諸元

一般名	周波数	送信電力	測位間隔	備考
GPS-TX	142.95 MHz	15.5 dBm	連続	別途、受信基地局の設置が必要
GPS データロガー	-	-	-	電波発信機能なし (記録のみ)

表 2-2-1(2) GPS-TX (発信機) と GPS データロガーの諸元

名称	重量	サイズ (縦×横×厚み)	電池	使用可能時間	
				設定期間	備考
GPS-TX	35.5g	53×42×16 mm	500mAh リチウムイオン電池	数日～ 2週間	期間は電波発信頻度で異なる 電波発信可能回数1500回程度
GPS データロガー	20g	44.5×28.5×13 mm	230mAh リチウムイオン電池	10時間～	期間は記録間隔により異なる 記載は、1秒間隔の場合

※ここに挙げた機材は、多数あるテレメトリ機器 (遠隔での位置追跡機器) のうち、あくまで今回の実験に用いた機材であり、実際の事業において特定の機材の使用を推奨するものではありません。

(2) 実証実験の調査地と方法

実証実験は、平成 27 年 11 月に、長野県南佐久郡南牧村にある筑波大学八ヶ岳演習林の林内（平地 A）と林外（平地 B）、長野県南佐久郡川上村にある筑波大学川上演習林の林内（山地 B）において実施した。

GPS-TX が発する電波を受信するための受信基地局は、調査地から約 2～5 km 離れた筑波大学八ヶ岳演習林事務所前に設置した。

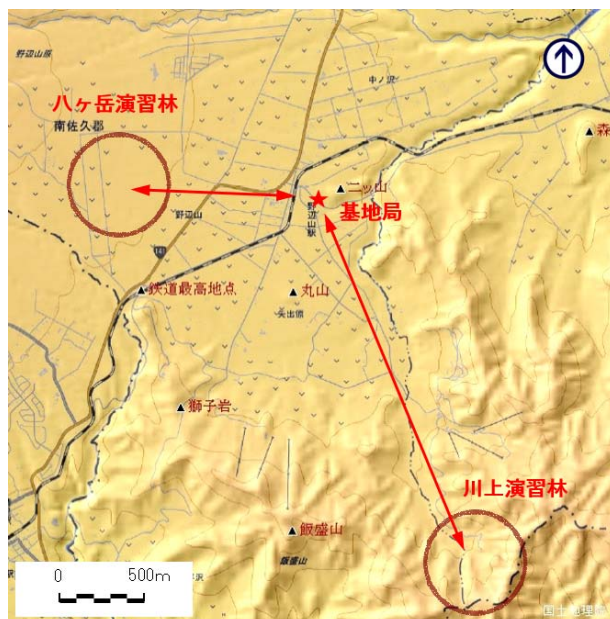


図 2-2-1 GPS-TX の基地局と実験箇所との位置関係
国土地理院電子地形図 25000 および基盤地図情報（10m メッシュ標高）より作成



写真 2-2-1 GPS-TX の電波を受信するための基地局（受信機、アンテナ）と設置状況
左側写真：黄色のケースに入った受信機と記録・可視化のための PC、右側写真：伸縮ポールでできたアンテナ

実証実験は、以下の手順で実施した。

まず、鷹匠が飼養中のオオタカに GPS-TX と GPS データロガーを装着した(写真 2-2-2)。

次に、調査地の筑波大学八ヶ岳演習林(平地 A)と筑波大学川上演習林(山地 B)の林内において、オオタカを放鳥した。オオタカに装着した GPS-TX が発する電波を、調査地から約 2~5 km 離れた受信基地局において受信し、オオタカの位置情報を記録し、移動経路を地図に示した。同様に、筑波大学八ヶ岳演習林の林外(平地 B)においても、オオタカを放鳥し、GPS-TX による追跡と、位置情報の記録、地図化を行った。

あわせて比較対象として、目視によって猛禽類の追跡を行うための調査員 5 名をオオタカの放鳥地点周辺に配置し、飛翔経路を記録した。

これらの実験終了後にオオタカを捕獲し、装着していた GPS-TX と GPS データロガーを取り外した。

最後に、取り外した GPS データロガーから記録された位置情報(GPS データ)、目視調査員による記録を回収し、GPS-TX による記録と比較した。



写真 2-2-2 オオタカに装着した GPS-TX の電波発信器

(3) 実証実験の結果と考察

平野部にある八ヶ岳演習林の林内（平地 A）と林外（平地 B）のそれぞれの調査地において、GPS-TX が記録したオオタカの位置と、GPS データロガーが記録した位置を、地図上にプロットした。その結果、両調査地ともに、GPS-TX と GPS データロガーが示すオオタカの移動軌跡がきれいに重なっていた（図 2-2-2）。

また GPS-TX と GPS データロガーが記録した位置の差をより厳密に調べるために、GPS-TX が記録した緯度座標（Y 座標）と経度座標（X 座標）をそれぞれ横軸にとり、同時に GPS データロガーが記録した緯度経度座標を縦軸にとる散布図を作成した。その結果、両者の結果は非常によく一致しており、その差は概ね数 m であり、最大でも数十 m に収まっていた（図 2-2-3～4）。

これらのことから、GPS-TX は精度良くオオタカの位置を記録し、無線で基地局に送信できていたことがわかった。

さらに、起伏に富む川上演習林（山地 B）で行った同様の調査においても、GPS-TX が記録したオオタカの位置と、GPS データロガーが記録した位置は、よく一致していた（図 2-2-5）。両者の結果をプロットした散布図では、平地での測位結果に比べると差が大きくなったものの、緯度座標（Y 座標）は最大 25m ほど、経度座標（X 座標）は最大 50m ほどに収まっていた。

オオタカの放鳥地点と基地局との離隔距離は最大 5km ほどあり、起伏に富む山地の調査地でもオオタカの追跡が可能であることがわかったことは、重要な成果といえる。

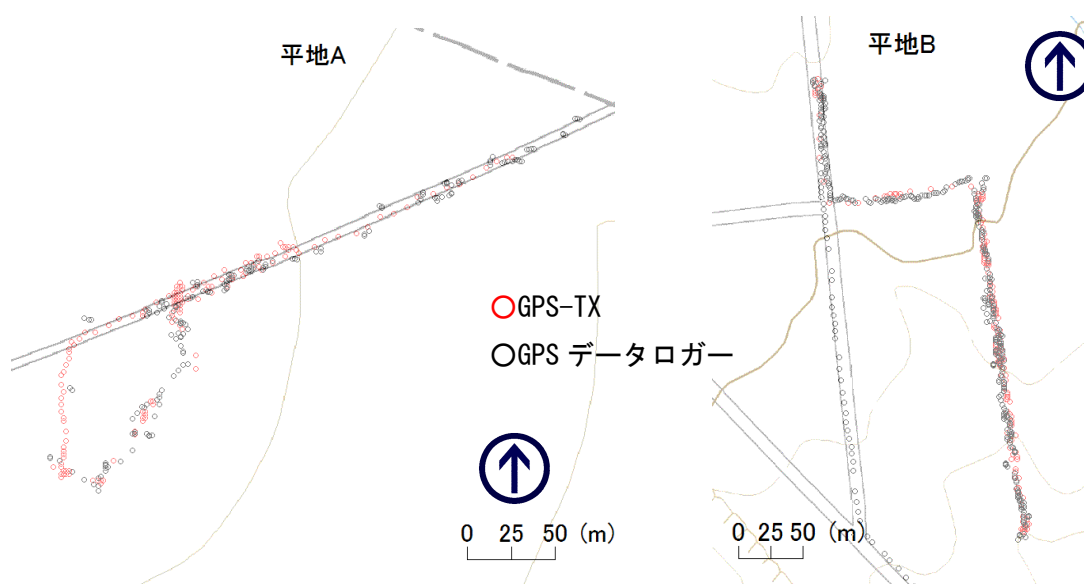


図 2-2-2 GPS-TX と GPS データロガーによる測位結果（平地）

国土地理院電子地形図 25000 および基盤地図情報（10m メッシュ標高）より作成

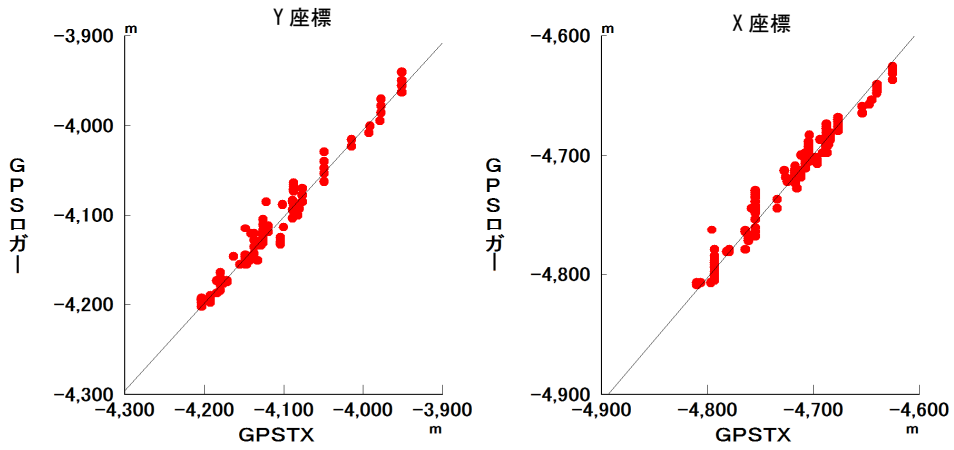


図 2-2-3 GPS-TX と GPS データロガーの測位結果の比較 (平地 A)

X, Y 座標は平面直角座標による

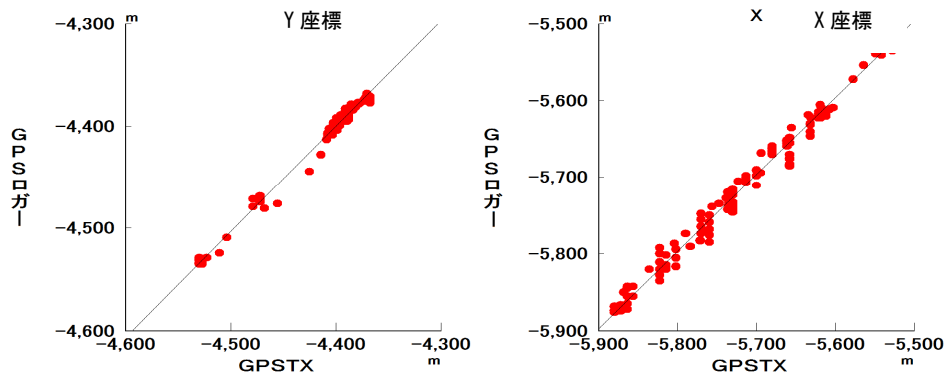


図 2-2-4 GPS-TX と GPS データロガーの測位結果の比較 (平地 B)

X, Y 座標は平面直角座標による

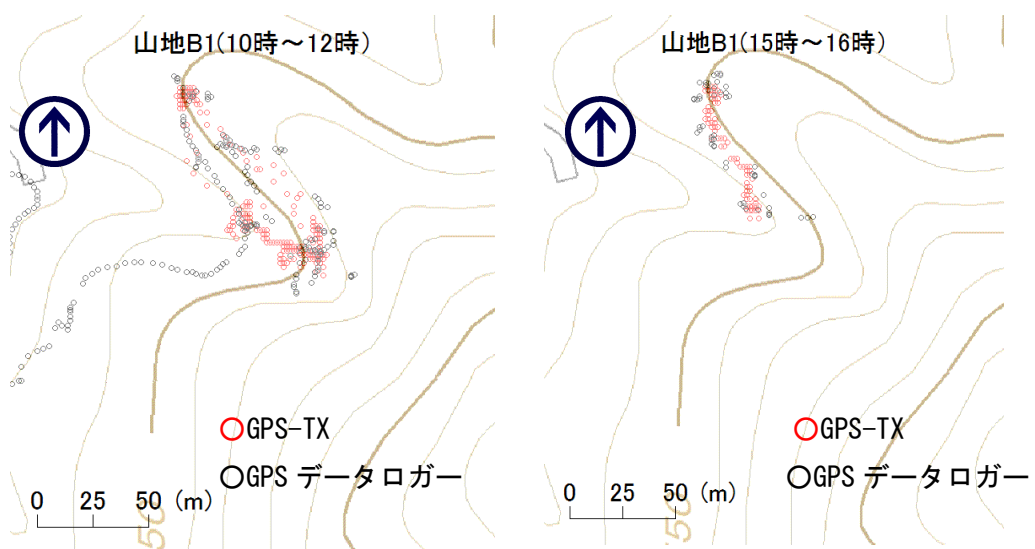


図 2-2-5 GPS-TX と GPS データロガーによる測位結果 (山地 B)

国土地理院電子地形図 25000 および基盤地図情報 (10m メッシュ標高) より作成

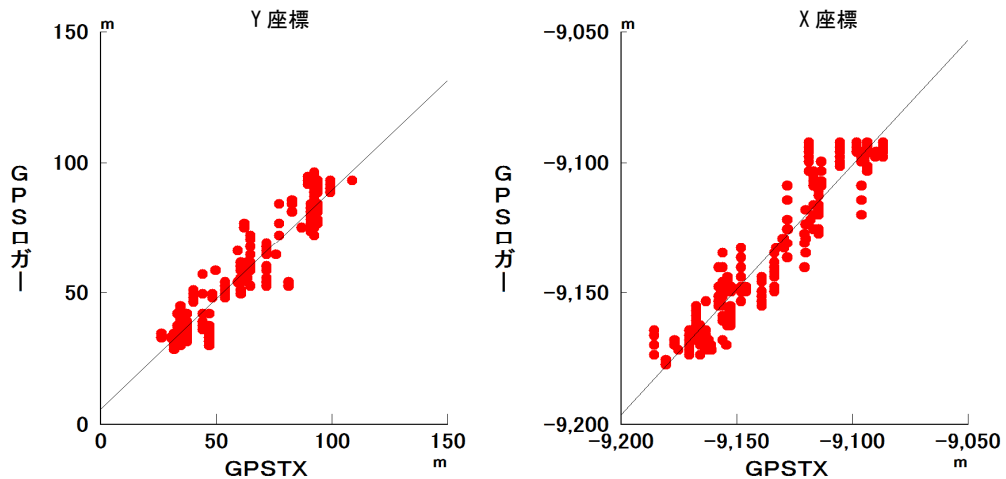


図 2-2-6 GPS-TX と GPS データロガーの測位結果の比較 (山地 B)

X, Y 座標は平面直角座標による

目視観察との比較では、山地において GPS-TX の優位性が際立った。

目視観察では、オオタカの飛翔コース周辺に 5 名の調査員を配置していたが、樹木やササに視界を遮られ、オオタカの飛翔を断片的にしか追跡できなかった (図 2-2-7)。さらに調査員 5 名のうち 3 名は、一度もオオタカの姿を見ることができず、確認できていた 2 名も最終的にはオオタカの位置を見失った (図 2-2-7)。

他方、GPS-TX は、位置情報が途中で途切れることもなく飛翔を追跡できていた。

このことから、GPS 搭載型電波発信機 (GPS-TX) の有効性が示された。

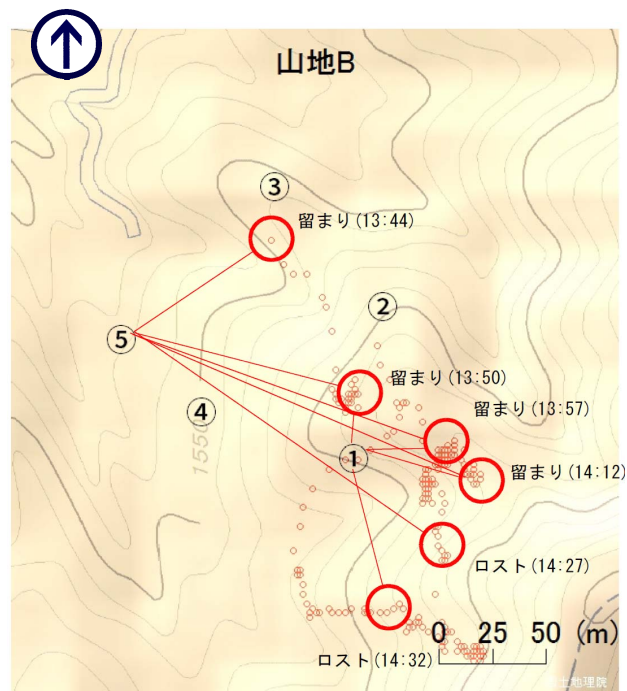


図 2-2-7 GPS-TX による飛翔記録と定点観察結果との照合

○数字は調査員の位置、赤丸は調査員が確認したオオタカの位置、小さな赤丸は GPS-TX が記録したオオタカの位置

地図は、国土地理院電子地形図 25000 および基盤地図情報 (10m メッシュ標高) より作成

(4) GPS 搭載型電波発信機 (GPS-TX) の活用場面と課題

GPS-TX は、位置情報の精度、調査範囲、コストの面で優れた技術と言える。

従来型の地上受信型テレメトリ（遠隔での位置追跡機器）に比べて受信可能範囲が広く、機器に内蔵された GPS の位置情報を直接受信するため、位置情報の精度も高い。また衛星通信を行うアルゴス GPS 等とは異なり、高頻度かつリアルタイムでデータを取得できる点でも優れている。

一方、猛禽類に装着するためには小型の GPS-TX が必要であり、搭載できる電池も極小サイズであるため、電池寿命が短いという課題がある（今回使用したものは、電池寿命が約 2 週間、位置情報の総発信回数が約 1500 回）。そのため調査目的が、短期間の詳細な位置情報の把握であるならば、GPS-TX は非常に有効なツールとなる。

今後、省電力の電波発信機と小型かつ軽量で高容量の電池の開発が進むことで、より長期の調査が可能になり、様々な目的に対応可能な技術となるだろう。



2-3 赤外線サーモカメラ

(1) 調査の目的と実証実験に用いた機材

赤外線サーモカメラは、熱を持った物体（動物など）の表面から発せられる熱赤外線を感じ、対象物の表面温度を計測する機器である。

実証実験では、2種類の赤外線サーモカメラ（機種A：動物調査用、機種B：汎用）を用意した（表2-3-1～2）、オオタカの撮影に用いた。

これらの機材を用い、赤外線サーモカメラによる猛禽類等の視認状況、調査手法の特長と課題、活用可能性等について明らかにすることを目的に実証実験を行った。

表 2-3-1 実証実験に使用した赤外線サーモカメラ 2 機種 of 諸元

一般名と用途	解像度	温度感度	検出波長域	レンズ視野角	測定距離範囲	ビデオ出力
赤外線サーモカメラ (動物調査用)	320×240 ピクセル	0.05℃	7.5～ 13.5μm	20°× 18°	人間(1.8×0.5m):460m 車両(2.3×2.3m):1200m	可
赤外線サーモカメラ (汎用)	640×480 ピクセル	0.025℃	8～14μm	22°× 17°	10cm～∞	可

表 2-3-2 実証実験に使用したサーモカメラ 2 機種 of 写真



※ここに挙げた機材は、多数あるサーモカメラのうち、あくまで今回の実験に用いた機材であり、実際の事業において特定の機材の使用を推奨するものではありません。

(2) 実証実験の調査地と方法

実証実験は、平成 27 年 11 月に実施した。

長野県南佐久郡南牧村にある筑波大学八ヶ岳演習林（平地 A）と、長野県南佐久郡川上村にある筑波大学川上演習林（山地 B）の林内において、オオタカを放鳥して赤外線サーモカメラによる追跡を行った。また八ヶ岳演習林（平地 B）では、林外でオオタカを放鳥し、同様に赤外線サーモカメラによる追跡を行った。

あわせて、川上演習林（山地 B）の林内において、オオタカを枝に止まらせ、様々な時刻、距離、角度から赤外線サーモカメラによる観察を行った。

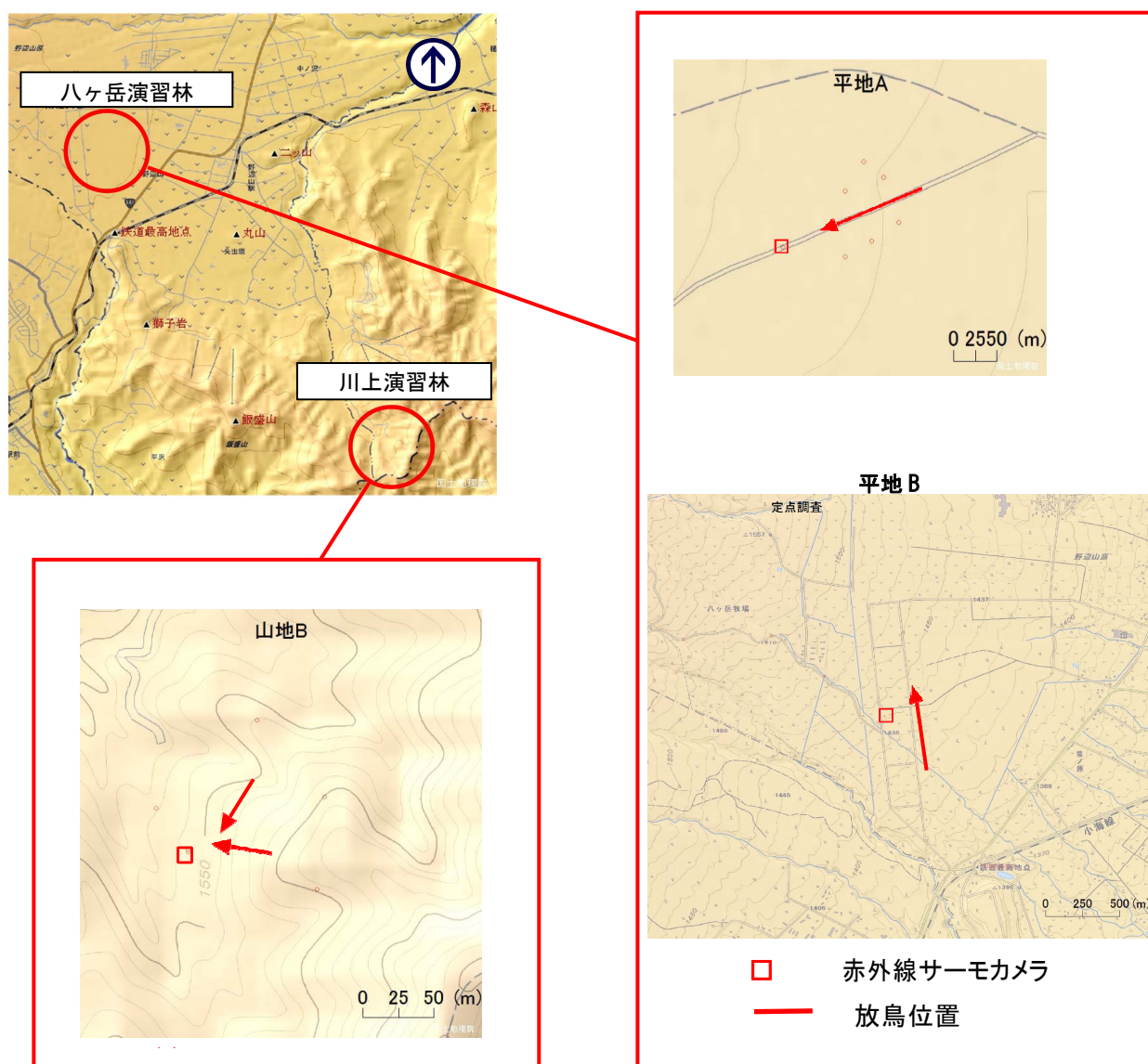


図 2-3-1 実証実験での調査位置

国土地理院電子地形図 25000 および基盤地図情報（10m メッシュ標高）より作成

(3) 実証実験の結果と考察

八ヶ岳演習林（平地 A）の林内において、オオタカを放鳥して赤外線サーモカメラによる追跡を行った結果、オオタカを明瞭に確認できた（写真 2-3-1~2）。

一方で、川上演習林（山地 B）の林内においても、同様にオオタカを放鳥して赤外線サーモカメラによる追跡を行ったものの、日中は林床まで太陽光が入射し、樹木や葉に太陽光（赤外線）が反射するため、周囲とオオタカの温度差が小さくなり、赤外線サーモカメラによるオオタカの識別は困難であった（写真 2-3-3）。

八ヶ岳演習林（平地 B）近くの林外で実施した実験では、日射しが強く、地面からの反射赤外線によって、100m 程度の至近距離であってもオオタカの識別が困難であった（写真 2-3-4）。

川上演習林（山地 B）の林内において、オオタカを枝に止まらせ、様々な時刻、距離、角度から赤外線サーモカメラによる観察を行った結果、特に林内に直射日光が届かなくなる夕方~日没前に、赤外線サーモカメラによってオオタカを明瞭に確認できた（写真 2-3-5~6）。

これらのことから赤外線サーモカメラは、日中の日当たりの良い林外や、林内であっても地面や樹木、葉などからの太陽光の反射の影響を受ける場所では、周囲の環境とオオタカの温度差が小さくなりすぎ、オオタカの識別が困難であることがわかった。

他方、夕方~日没前の林内など、時間帯や場所を選ぶことで、赤外線サーモカメラの能力が発揮できることが確認できた。夕方~日没前は、視認性が低下し、調査員による目視確認が難しくなる時間帯である。したがって赤外線サーモカメラは従来型の目視調査を補完できる可能性があることが確認できた。



赤外線サーモカメラ（汎用）



○内がおオタカ

赤外線サーモカメラ（動物調査用）



○内がおオタカ

ビデオカメラ



○内がおオタカ

写真 2-3-1 オオタカ放鳥時のサーモグラフ（平地 A・飛翔時）

赤外線サーモカメラ（汎用）



赤外線サーモカメラ（動物調査用）



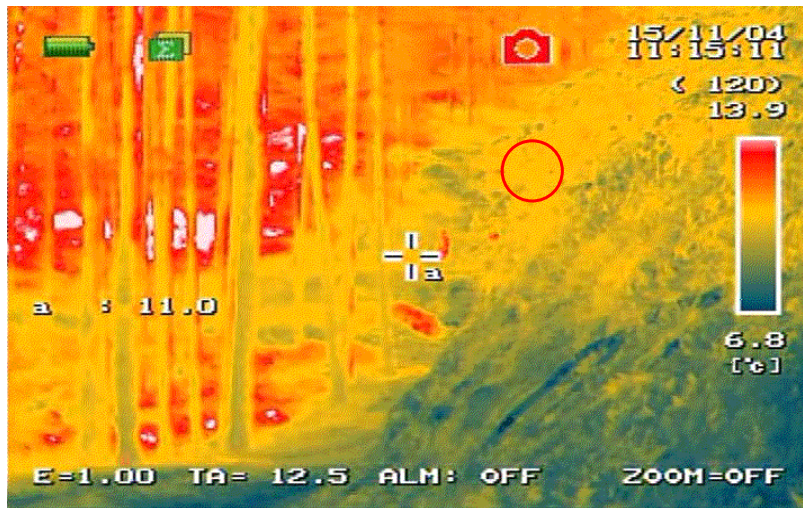
ビデオカメラ



○内がオオタカ
(止まり位置)

写真 2-3-2 オオタカ放鳥時のサーモグラフ（平地A・とまり時）

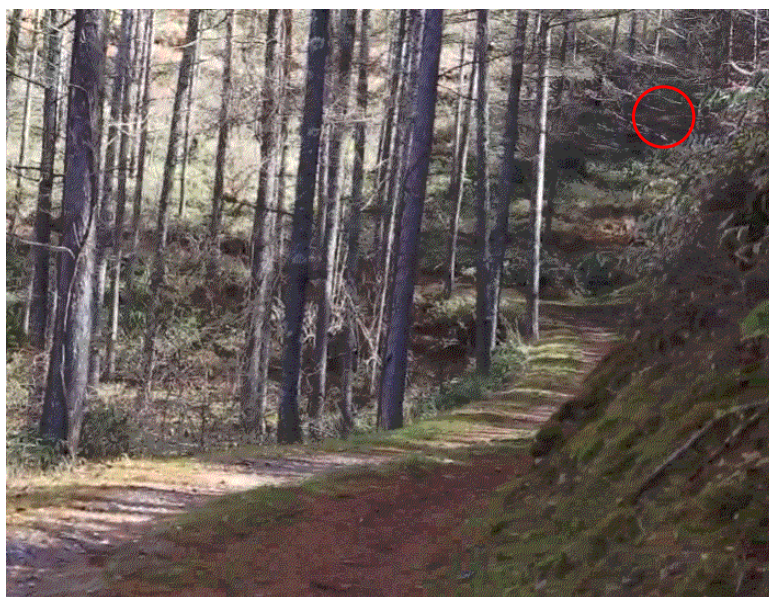
赤外線サーモカメラ（汎用）



赤外線サーモカメラ（動物調査用）



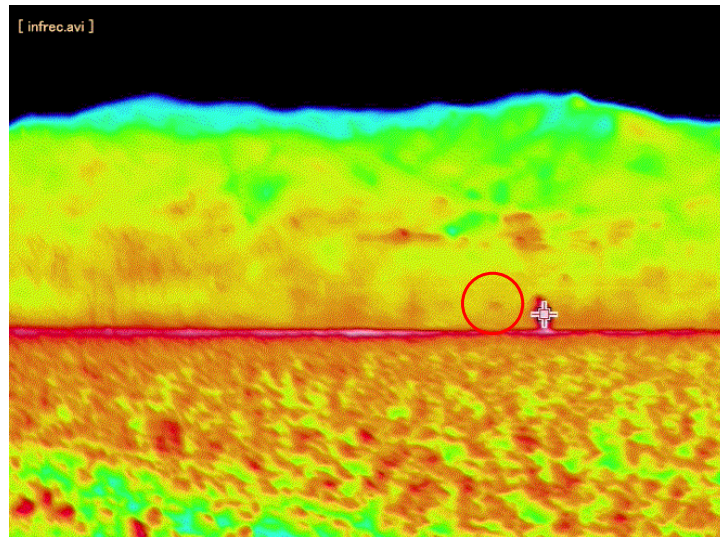
ビデオカメラ



○内がオオタカ
（止まり位置）

写真 2-3-3 オオタカ放鳥時のサーモグラフ（山地 B）

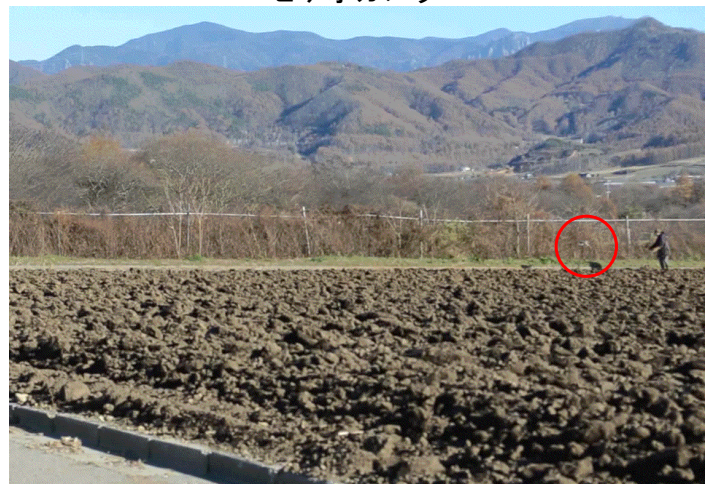
赤外線サーモカメラ（汎用）



赤外線サーモカメラ（動物調査用）

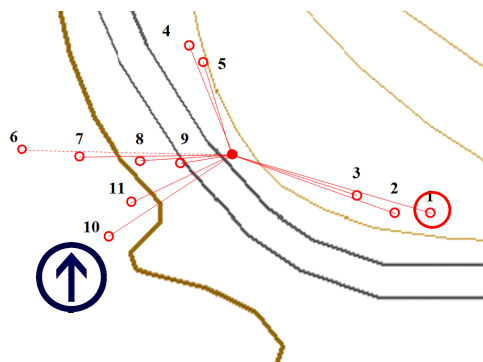
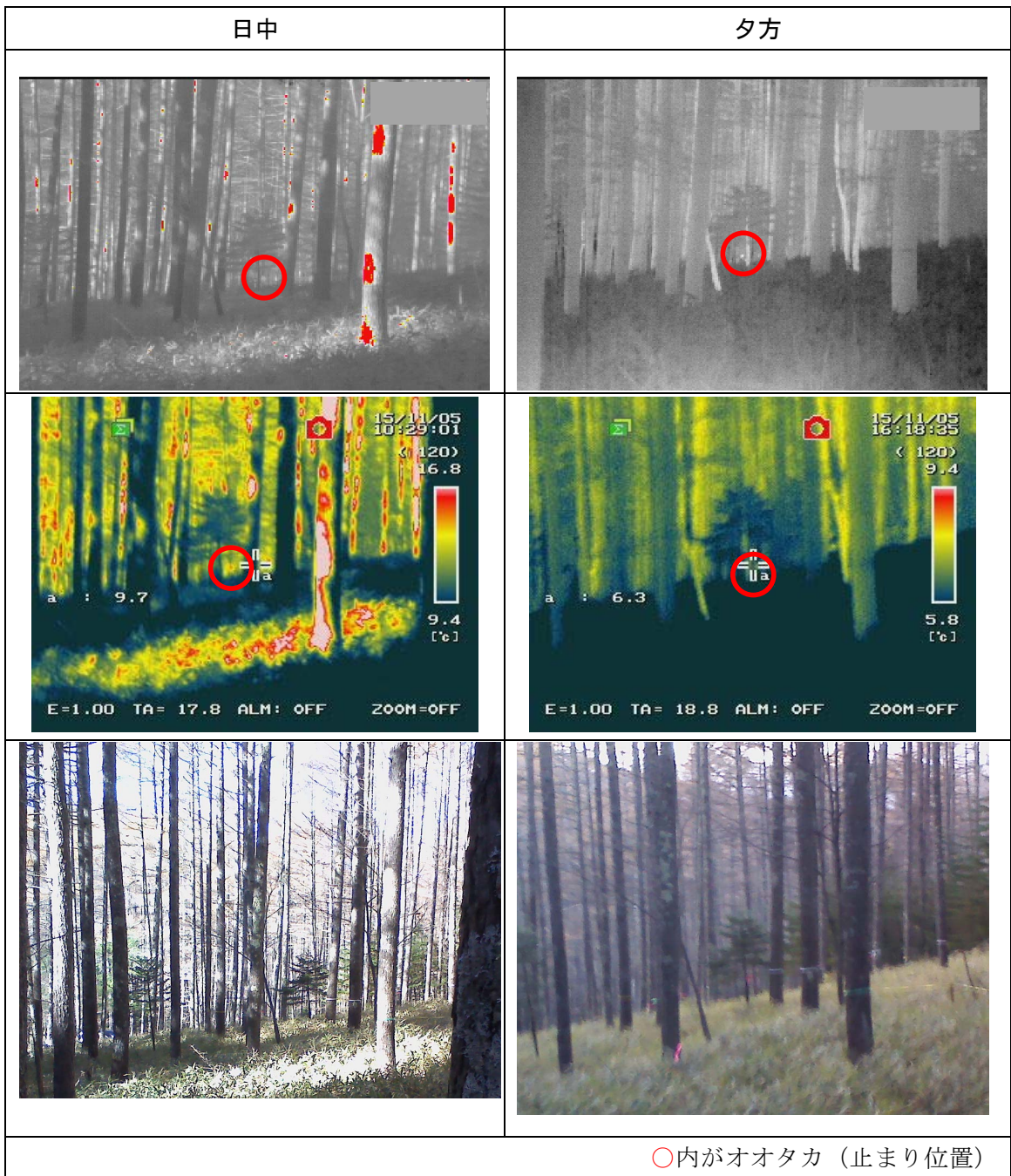


ビデオカメラ



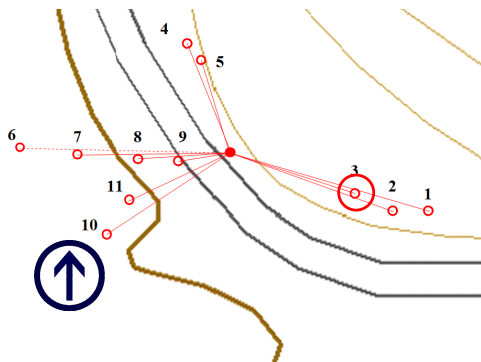
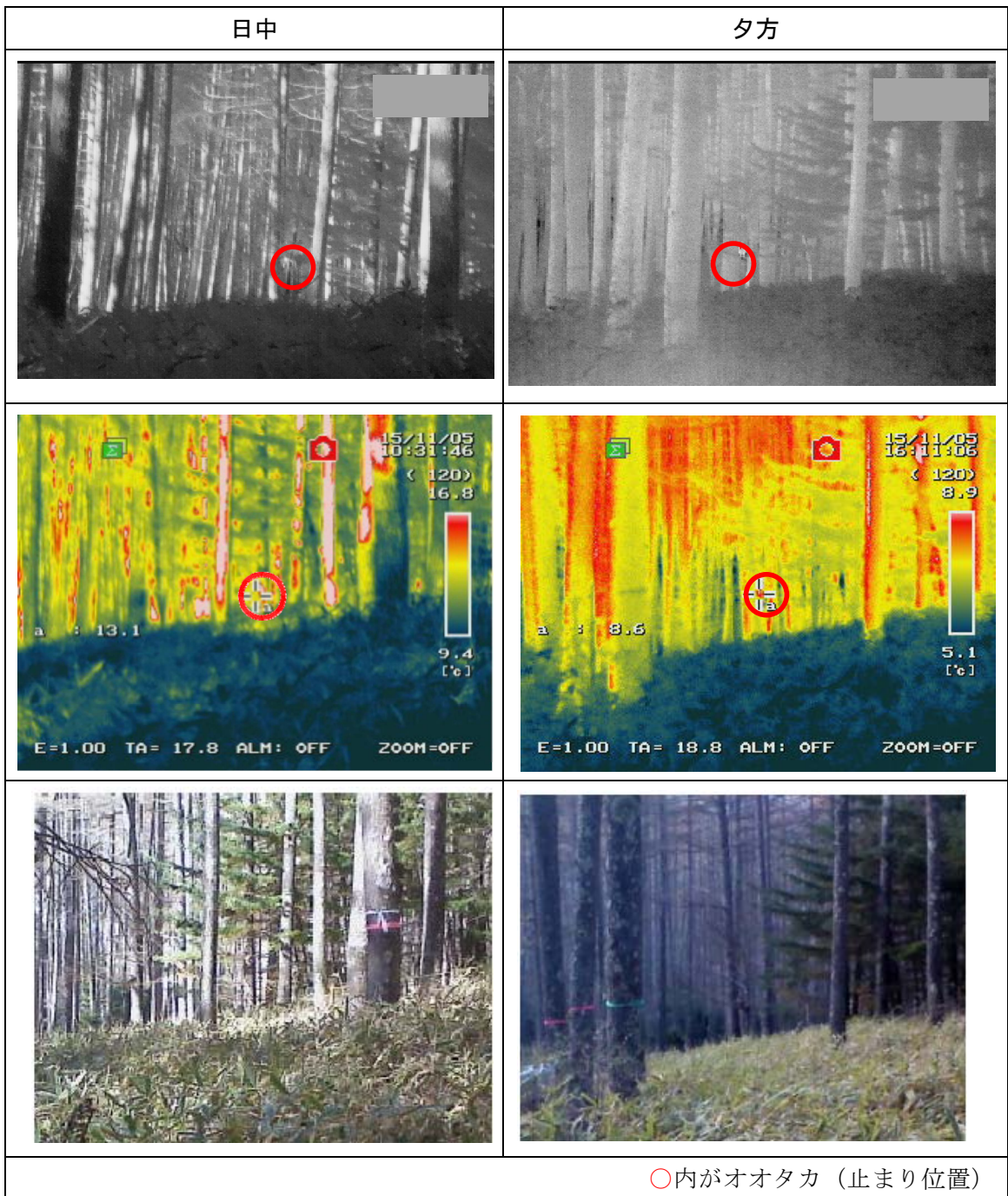
○内がおオタカ
（飛翔中）

写真 2-3-4 オオタカ放鳥時のサーモグラフ（平地 B）



上段：赤外線サーモカメラ（汎用）
 中段：赤外線サーモカメラ（動物調査用）
 下段：ビデオカメラ
 ●おオタカの位置
 おオタカまでの距離：64.6m

写真 2-3-5 サーモカメラによる撮影（山地A・地点1）



上段：赤外線サーモカメラ（汎用）
 中段：赤外線サーモカメラ（動物調査用）
 下段：ビデオカメラ
 ●オオタカの位置
 オオタカまでの距離：40.7m

写真 2-3-6 サーマカメラによる撮影（山地 A・地点 3）

(4) 赤外線サーモカメラの活用場面と課題

赤外線サーモカメラは、日中の日当たりの良い場所では、地面や樹木、葉などからの太陽光（赤外線を含む）の反射の影響により、猛禽類と周囲の環境の識別が困難であった。

他方、夕方～日没前の林内では、赤外線サーモカメラでオオタカを明瞭に確認できた。したがって時間帯や場所を選ぶことで、赤外線サーモカメラの能力が発揮できることが確認できた。

赤外線サーモカメラの活用場面としては、営巣林への成鳥の出入りの観察や、成鳥や幼鳥の追跡（林縁など薄暗い場所での行動の確認や夜間の位置確認）、巣上のヒナの確認（巣の縁から顔を覗かせているような場合）などが考えられる。

また望遠レンズを装着することができる機種では、クマタカやミサゴ、ハヤブサなど、山地の斜面の樹木や崖地に営巣する種などを対象に、一般的な望遠鏡では視認しづらい状況であっても、赤外線サーモカメラにより親鳥や雛の確認が容易になると考えられる。



2-4 レーダー

(1) 調査の目的と実証実験に用いた機材

レーダーを用いた実験を行うにあたり、各種のレーダーの中から、入手が容易であり、かつ鳥類調査の実績がある船舶レーダーを用いることとした。

一般に船舶レーダーは、洋上を航行する船に搭載し、周囲の船舶や陸地などからのレーダー反射波（反射エコー）を受信することで、対象物の有無や対象までの距離と方位を把握する技術である。近年、このレーダーに鳥類の反射エコーが映ることがわかってきた。

今回の実証実験では、船舶レーダーの中でも、海鳥の発見を目的に開発されたバードレーダーを用いた（表 2-4-1）。

これらの機材を用い、船舶レーダーによる猛禽類等の捕捉状況、調査可能範囲、調査時の留意事項等、調査手法の特長と課題、活用可能性（目視記録の精度向上等）について明らかにすることを目的に実証実験を行った。

表 2-4-1 各種レーダーの諸元

一般名	周波数 (MHz)	最少探知距離	水平面の主輻射角度	鉛直面の主輻射角度	回転数 (RPM)	出力 (kw)	最大探知距離 (NM)	鳥類調査の実績
【今回使用】 船舶レーダー (バードレーダー)	9410	20m	3.7°	25°	24/48	4	48	—
【参考】 船舶レーダー	9410	20m	1.8°	22°	24	25	96	有
	9410	22m	4.8°	20°	24/48	25	96	有
	9410	25m	1.9°	22°	24/36/ 48	6	64	—

※ここに挙げた機材は、多数ある機材のうち、あくまで今回の実験に使用、あるいは参考とした機材であり、実際の事業において特定の機材の使用を推奨するものではありません。

【用語】 水平面の主輻射角度：水平方向の分解能を規定する数値

鉛直面の主輻射角度：鉛直方向の探査範囲を規定する数値

出力：最大探知距離を規定する数値

表 2-4-2 実証実験に使用した船舶レーダー

新技術	性能
	<p>● 左上写真：レーダー（アンテナ部分）</p> <p>本体サイズ：直径50-8×高さ24-765cm アンテナ長さ：43-18cm（17インチ） 出力：4KW 防水性能：IPX7 電圧範囲：11-35 VDC 消費電力：30W-48W 最大範囲：77-249km(48マイル) 最小範囲：20m 回転数：24/48 RPM（デュアル回転） ビーム角度：水平方向5-2°/垂直方向25°</p>
<p>● 右下写真：レーダー（本体部分）</p> <p>本体サイズ：横35-9×縦23-6×厚さ7-5cm 画面サイズ：横21-1×縦15-8 対角26-4cm 800X600ドット SVGAディスプレイ 出力：最大1kW 回路内蔵 電圧範囲：10-32 VDC 防水性能：IPX7 発射可能周波数等：</p> <p>CHIRP ダウンビュー 800/455/260khz(300m) CHIRP 高130-210KHZ(400m) 中95-155KHZ(500m) 低28-75KHZ (1200m) HD-ID 通常魚探 200/77/50khz(700m) DGPS 進行方位へディング計算/位置更新 毎秒10回 精度2-4m 外付アンテナ付属</p>	

(2) 実証実験の調査地と方法

船舶レーダーを用いた実証実験は、機器の性能試験と設置方法の確認を行うための「予備実験」、実際にオオタカを追跡する「本実験」、本実験で明らかになった課題を追加的に検証するための「追加実験」の3回に分けて実施した。

(a) 予備実験

予備実験は、茨城県つくば市にある国土技術政策総合研究所（国総研）構内のグラウンドにおいて、平成27年10月に実施した。



図 2-4-1 予備実験での調査位置

国土地理院電子地形図 25000 および基盤地図情報（10m メッシュ標高）より作成

予備実験では、ドローン（別名：UAV）を猛禽類に見立てて飛行させ、これを船舶レーダーで捕捉することにより、レーダーの動作確認と捕捉可能領域の把握を行った。

表 2-4-3 実証実験に使用した使用したドローンと緒元

写真	緒元
	機体重量：3,035 g（バッテリー重量を含む） 1充電当たりの飛行時間：約18分 飛行可能範囲：2 km 最大飛行高度：4,500 m (改正航空法で高度150 mを越えての飛行は禁止) 最大飛行速度：22 m/s (79.2 km/h) 最大上昇速度：5 m/s (18 km/h) 最大下降速度：4 m/s (14.4 km/h)

(b) 本実験

本実験は、平成 27 年 11 月に実施した。

GPS-TX、サーモカメラの実証実験と同じく、長野県南佐久郡南牧村にある筑波大学八ヶ岳演習林（平地 A）と、長野県南佐久郡川上村にある筑波大学川上演習林（山地 B）の林内において、オオタカを放鳥し、船舶レーダーによる追跡を行った。

八ヶ岳演習林（平地 B）では、林外でオオタカを放鳥し、同じく船舶レーダーによる追跡を行った。この林外での調査では、放鳥したオオタカに加え、周辺を飛行する野鳥についても、レーダーで捕捉可能かどうか、確認をおこなった。

また比較のために、従来型の目視による定点調査も実施した。調査定点は、2 か所の演習林で計 21 点（平野部 16 地点、山地 5 地点）を設け、各定点に調査者 1 名を配置した。

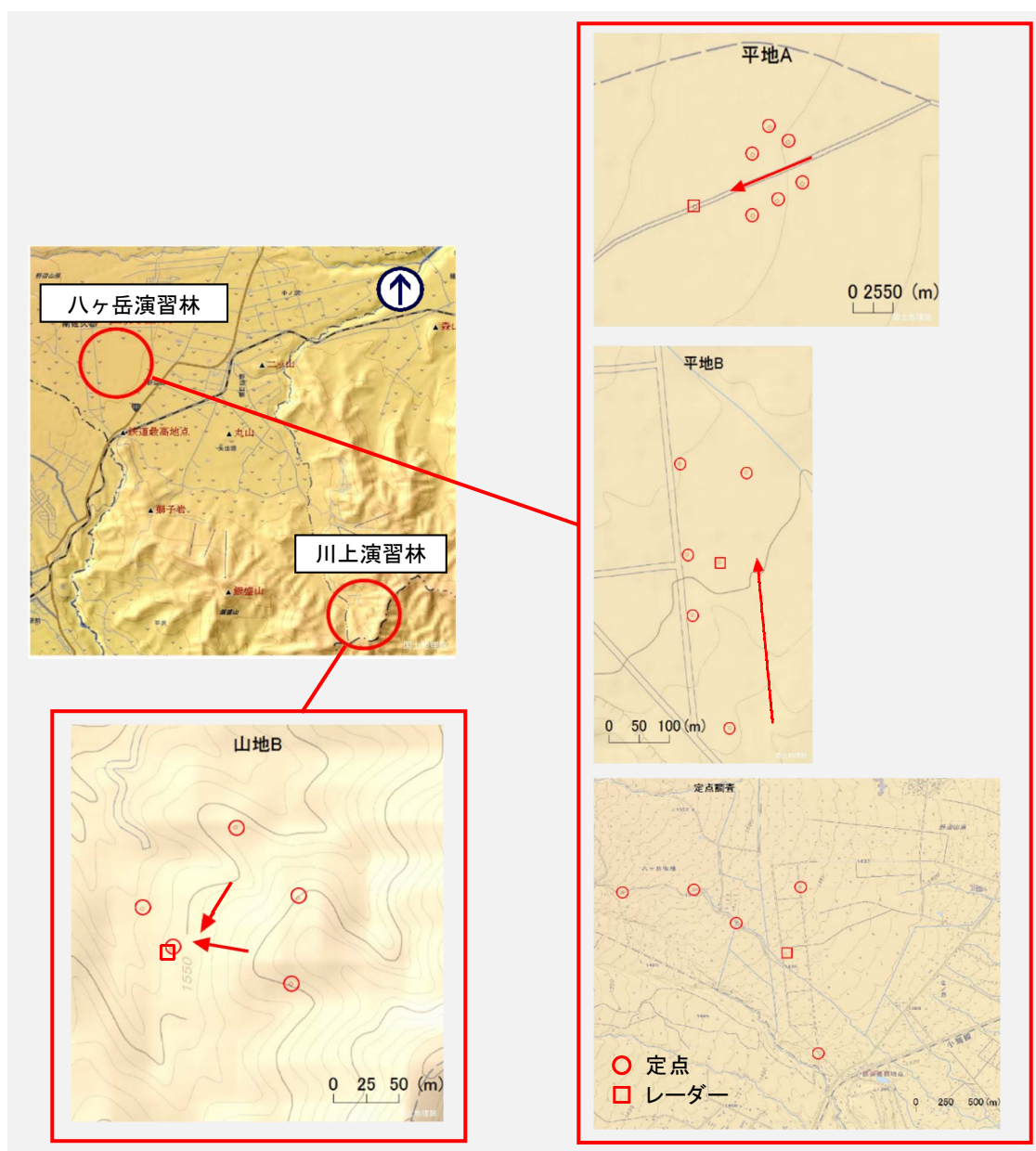


図 2-4-2 本実験での調査位置

国土地理院電子地形図 25000 および基盤地図情報（10m メッシュ標高）より作成

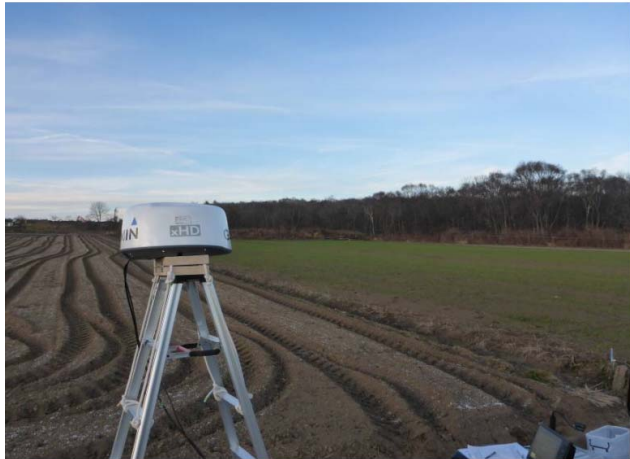


写真 2-4-1 林外調査でのレーダーの設置状況（平地 B）

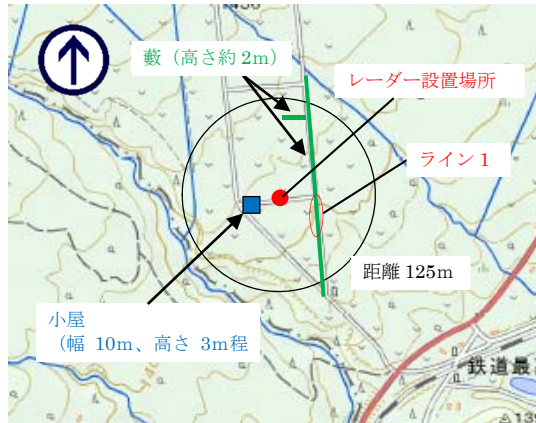


図 2-4-3 林外調査でのレーダーの設置位置（平地 B）

国土地理院電子地形図 25000 および基盤地図情報（10m メッシュ標高）より作成

(c) 追加実験

本実験の結果、地上や樹木等からの反射波によって、レーダーの受信映像が乱れる現象（ノイズ）が頻繁に確認された。そこで、安定した受信映像を得るための船舶レーダーの設置方法を調べるために、平成27年12月に追加実験を行った。

追加実験では、地面からの反射波の影響を緩和するため、国土技術政策研究所構内にある2階建てコンクリート造の建物屋上に、船舶レーダーを設置した。あわせて、地面、その他からの反射波の影響を軽減するための電波吸収シートをレーダーの足元に設置し（写真2-4-2）、高所設置および電波吸収シートによるノイズの軽減効果を確認した。

これらの工夫により、ノイズの軽減効果が確認されたことから、約1.6km離れた場所からドローンを飛行させ、遠方の飛行物体の捕捉状況の確認も行った。



図 2-4-4 追加実験での調査位置（レーダー設置およびドローン飛行場所）

国土地理院電子地形図 25000 および基盤地図情報（10m メッシュ標高）より作成



写真 2-4-2 レーダーアンテナおよび電波吸収シート設置状況

レーダーアンテナ（脚立上の白い物体）の下に、電波吸収シート（約1m 四方）を広げている

(3) 実証実験の結果と考察

(a) 予備実験

予備実験の結果、レーダーにより、ドローン本体が楕円形の影として捉えられた。レーダーの画面上では、ドローンが飛行するのに合わせて、ドローンを捉えた楕円形の影も移動するのが確認された（写真 2-4-3）。ただし、ドローンの姿勢や移動速度等の条件の違いにより、レーダーが捕捉したドローンの影も形状や判別しやすさが変化した。



写真 2-4-3 レーダーによるドローンの確認状況（赤丸内がドローン）

さらに、レーダーの設計上、捕捉可能な理論値（仰角 12.5°）に近い高度までドローンの飛行を補足できた（図 2-4-5）。

なおドローンの本体部分（プロペラ部分を除く）の大きさは約 30×20cm で、概ねオオタカの大きさに類似していた。このためレーダーの性能的には、大きさが猛禽類相当の飛行物体を捉えることに問題がないことがわかった。

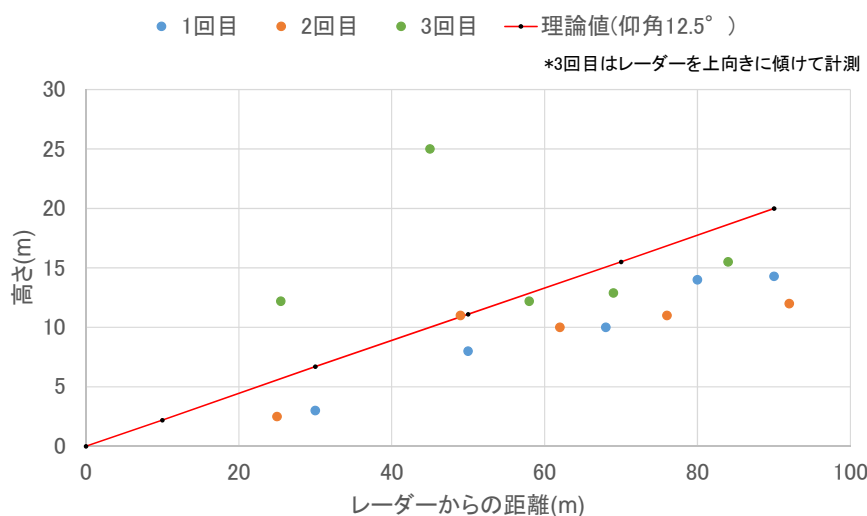


図 2-4-5 レーダーによるドローンの捕捉可能距離と高さ

(b) 本実験

平地と山地の林内、平地の林外に船舶用のレーダーを設置し、放鳥したオオタカの追跡を試みた。

その結果、平地、山地ともに、林内では、レーダー波が樹木や地面に反射し、レーダー画面上に多くのノイズが発生したため、レーダーによるオオタカの確認や追跡はできなかった。また平地の林外でも、藪や建物、地面からのレーダー波の反射に加え（写真 2-4-4）、放鳥したオオタカの飛翔高度が低空であったことから、レーダーではオオタカを捉えられなかった（写真 2-4-5）。

平地の林外では、オオタカの追跡調査と同時に、周辺（半径約 500m 内）を飛翔する一般鳥類を対象としたレーダー調査も実施した。その結果、トビ 1 羽が探知された。一方、調査時間中には、他にもカラスやスズメなどの中小型鳥類の飛翔が調査員によって記録されたが、レーダーで捉えることはできなかった。この原因として、調査時間を通じてレーダー画像には多くのノイズが発生していたため、飛翔する鳥類からの反射がそれらのノイズと重なり、明瞭に判別することができなかったものと考えられる。

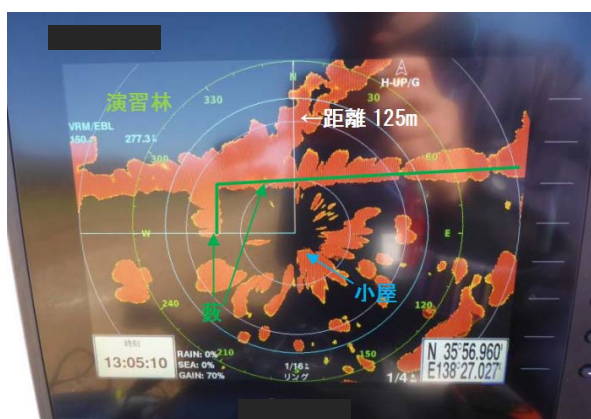


写真 2-4-4 レーダーの画像（平地の林外）
藪（緑線）や小屋（水色矢印）からの反射波が映っている。

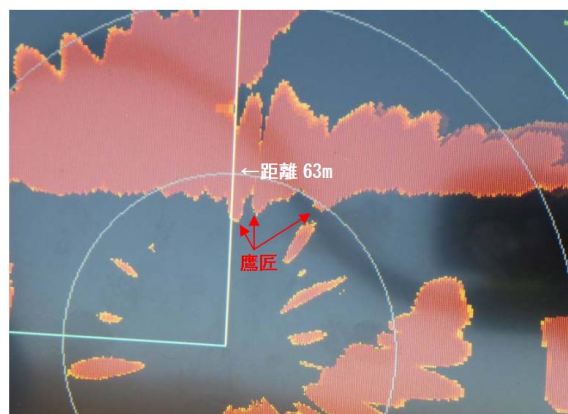


写真 2-4-5 レーダーの画像（放鳥時）
鷹匠 3 名の姿は映るが、オオタカは捉えられなかった。

(c) 追加実験

地面や樹木等からの反射波の影響を軽減し、安定した受信映像を得るための船舶レーダーの設置方法を調べるために、追加調査を実施した。

地面からの高度を確保するために、2階建てコンクリート造の建物屋上に船舶レーダーを設置した。あわせて、地面、その他からの反射波の影響を軽減するための電波吸収シートをレーダーの足元に設置した結果、高所設置および電波吸収シートによるノイズの軽減効果を確認できた（写真2-4-6,7）。

また、約1.6km離れた場所を飛行するドローンを、レーダーにより捉えることができた（写真2-4-8,9）。

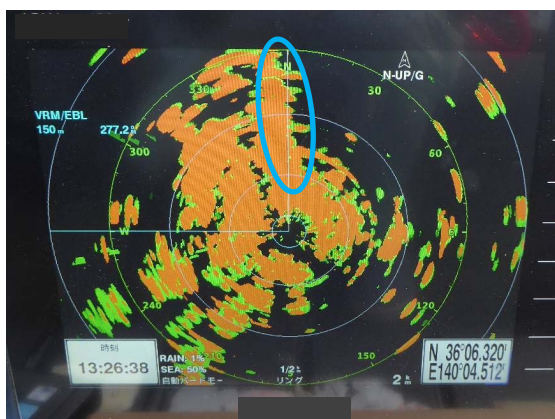


写真 2-4-6 電波吸収シート設置前のノイズの発生状況

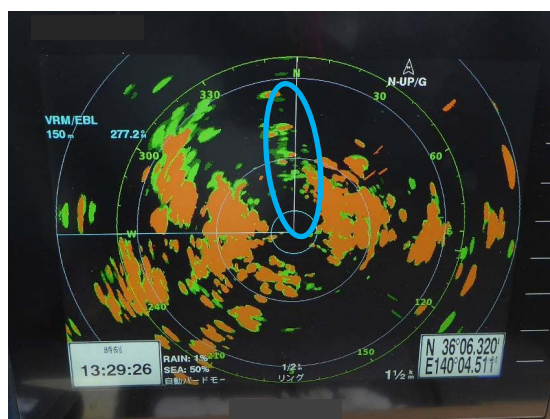


写真 2-4-7 電波吸収シート設置後のノイズの発生状況



写真 2-4-8 確認されたドローン（赤丸内）



写真 2-4-9 確認されたドローン（画面右から左へ移動中）

(4) 船舶レーダーの活用場面と課題

船舶用等レーダーは、既に、風力発電の環境影響評価など、上空を通過する鳥類の調査で普及しつつあるが、地上近くを飛翔する猛禽類の調査に用いるためには、技術的課題が残されている。

今回の実験では、林内・林外ともに、レーダー波が樹木や地面に反射してしまい、大量のノイズが発生したため、放鳥したオオタカの探知ができなかった。

他方、電波吸収材を利用するなど、レーダーの設置方法を工夫することで、ある程度ノイズの軽減を図れること、開けた場所ではノイズが少なく、500mほど離れた場所の猛禽類（実験ではトビ）の飛翔をレーダーで探知できることがわかった。

今後、道路事業など、地上近くを飛翔する猛禽類の調査に用いていくためには、電波吸収材の利用やレーダーの設置方法を工夫することでノイズの軽減を図った後に、実際の猛禽類調査に近い様々な地形や植生タイプのもとで、レーダーの追跡性能の確認を行うことが先決である。

